

# RELATOS DESDE



YAMILA OLIVARES.

# LA EXCLUSIÓN

El desarrollo de la cristalografía se inició en plena era moderna, cuando la mujer se encontraba radicalmente excluida de la ciencia. No obstante, su participación en su desarrollo fue de gran relevancia. En este artículo se presenta un recorrido por la historia de esta técnica, con énfasis en el papel que tuvieron distintas mujeres. Se elaboró una síntesis de un conjunto de dispositivos de exclusión relacionados a los estereotipos de género y a las barreras institucionales, y se analizó cuáles y en qué medida están presentes en los avances de la cristalografía. Finalmente, se reflexiona en torno a la importancia de visibilizar el rol femenino en el contexto actual, en una cultura hegemonizada por lo masculino.

**Palabras clave:** cristalografía, mujeres en la ciencia, exclusión.

**POR YAMILA OLIVARES G.**

El 10 de abril del 2019, una fotografía deslumbró a la astronomía y al mundo: se obtuvo la primera imagen de un agujero negro supermasivo gracias al telescopio del horizonte de sucesos (BBC News Mundo, 2019). La protagonista de este logro fue la ingeniera Katie Bouman, investigadora informática del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) que ideó un algoritmo, nombrado CHIRP (Continuous High-resolution Image Reconstruction) que junto a otros, permitió la creación de tres líneas de código con guión para reconstruir la primera imagen del agujero negro ubicado en la galaxia M87, a unos 55 millones de años luz de la Tierra (Infobae, 2019).

El descubrimiento desencadenó una polémica: muchos culparon a Katie de robarse el crédito de la investigación, indicando que Andrew Chael había realizado la mayoría del trabajo (Emol, 2019). No obstante, el mismo Chael (2019) declaró: "Mientras escribí gran parte del código para una de estas canalizaciones, Katie era un gran contribuyente al software; nunca habría funcionado sin sus contribuciones". Luego añadió: "(...) estoy emocionado de que Katie está recibiendo reconocimiento por su trabajo y que está inspirando a la gente como un ejemplo de liderazgo de mujeres en STEM". Es más, en una entrevista con The Washington Post, Chael declaró que estaba satisfecho con su trabajo en el proyecto y resaltó la colaboración de su compañera y amiga Katie en cada etapa (Emol, 2019). Este suceso refleja las trabas culturales para aceptar y reconocer el papel e importancia de las mujeres en la ciencia.

Hoy no es un misterio hablar de la desigualdad de género en la ciencia. El Reporte de Género de Conicyt de 2018 da cuenta de que, aunque desde 2009 las mujeres representan más del 50% de las titulaciones anuales, en el área científico natural y matemática, su participación es apenas de un 18%, a diferencia de lo

que ocurre en las carreras en educación, salud y servicios sociales, donde su presencia alcanza un 83,8% y 79,7% respectivamente.

En relación a los estudios de postgrado, la situación no es muy distinta. Aquí, tanto salud como educación tienen cerca de 70% de la matrícula femenina, mientras que las ciencias apenas el 33%. En el área de la investigación, aunque la asignación de fondos en adjudicación de proyectos a mujeres ha aumentado, se mantiene en un 39,9% (Conicyt, 2018). Sumado a ello, en los campos de la industria 4.0, claves para el avance en la era de la revolución digital, el informe de la UNESCO (2017) reporta la escasez de mujeres estudiando en estas áreas, siendo de un 18% en EEUU en 2018.

Las cifras expuestas dan cuenta de la asociación de lo masculino con las ciencias naturales y matemáticas y de lo femenino a las ciencias sociales, artes y humanidades. Llama la atención que aunque existan más mujeres estudiando en esas áreas, su presencia profesional sigue siendo baja, siendo los principales responsables la motivación y la exclusión, tanto social como de la misma institución educativa, además de la relación espontánea entre ciencia-tecnología y hombres (Maffía, 2007).

Si bien las cifras muestran que en las últimas décadas las mujeres han logrado insertarse en el área de la ciencia, las diferencias tanto sociales como económicas entre ambos géneros se mantienen. La división del trabajo en que el hombre mantiene la casa y la mujer cuida a los niños persiste en nuestra sociedad y genera que ellas trabajen fuera y dentro del hogar, es decir, que tengan una doble jornada. Esto se ha sostenido en el tiempo dados los estereotipos culturales, prejuicios y tabúes que impiden la visibilización de la mujer en un mundo androcéntrico (Barreira, et al, 2020; OECD, 2021).

Además, los mecanismos institucionales reproducen las desigualdades de género. Como indica Waksman (2005) se trata de mecanismos sutiles e implícitos que contribuyen a mantener y legitimar la segregación de la mujer e incluyen tanto el relato histórico como los dispositivos culturales que funcionan reproduciendo dicha situación. Lourenco (2019) señala que la desigualdad está fuertemente arraigada en los estereotipos relacionados a las capacidades y sesgos de las mujeres, lo que va más allá de una discriminación institucional pues se basa en prejuicios infundados. Lagarde (2010) plantea que si bien en la época moderna y contemporánea se produjeron movimientos que permitieron la inclusión de la mujer a la sociedad científica, aún existen roles asumidos, como por ejemplo, que tengan una doble jornada de trabajo por las responsabilidades personales y laborales, la casa y el trabajo.

En razón de los antecedentes expuestos, este artículo tiene por objetivo rescatar los aportes realizados por mujeres en el campo de la ciencia, específicamente en la cristalografía. Se trabajará el relato histórico de la disciplina y la técnica de la cristalografía desde la exclusión de la mujer en la ciencia. Tanto esta postura como el tema tienen su raíz en el trabajo realizado años atrás en el ensayo monográfico titulado La cristalografía, una reseña histórica, que fue una puerta de entrada para descubrir el importante y a la vez poco conocido papel jugado por las mujeres en este campo.

El artículo comienza con una breve contextualización sobre la situación de las mujeres en relación a la ciencia en la Modernidad, sigue con la exposición de las metáforas de exclusión de la mujer en la ciencia y finaliza abordando estas metáforas en el desarrollo de la cristalografía, además de ofrecer algunas reflexiones al respecto.

## MUJER Y MODERNIDAD

La historia de la cristalografía ocurre en plena era moderna de la ciencia, a inicios del siglo XX, cuando ya se encontraban consolidadas las universidades como instituciones de desarrollo del conocimiento. Hasta antes de la ilustración y de la separación entre iglesia y Estado, el ingreso de mujeres estaba prohibido por considerarse “fuentes del pecado”, como se expresa en la declaración de la Universidad de Bolonia en 1377. Con la Modernidad se derribó la barrera de acceso, aunque no la desigualdad ni los mecanismos de exclusión como se verá más adelante.

A fines del siglo XVIII, en 1791, la francesa Olympe de Gouges promovió el documento que finalmente fue la Declaración de los Derechos de la Mujer y la Ciudadanía, que buscaba corregir las desigualdades derivadas de la declaración de derechos de la Revolución Francesa de 1789 (Duarte y García, 2016). En este marco comenzó el proceso de ingreso de la mujer a la universidad en Estados Unidos en la década de 1830 -en escuelas médicas exclusivas para la mujer, que no dependían necesariamente de la universidad-, para luego continuar en París, Zurich e Inglaterra, donde se enfatizó la inclusión desde la medicina (Itatí, 2006). El ingreso a la universidad en el resto del mundo ocurrió décadas más tarde. En las universidades suizas se les aceptó recién en la década de 1860, en las inglesas en 1870, en las francesas en 1880 y en las alemanas en 1900 (Waksman, 2005).

En Latinoamérica, el acceso de la mujer se produjo a partir de 1880 en Brasil, México, Chile, Cuba y Argentina. En la academia tardaron aún más en admitir mujeres. A Marie Curie le negaron el ingreso a la Academie de Sciences de París sólo un año antes de concederle el segundo Premio Nobel en 1910 (Waksman, 2005).

Aunque durante el siglo XIX se abren posibilidades para el ingreso de la mujer a la universidad y puede optar a trabajos más específicos, seguía sin ser bien visto socialmente, pues se esperaba que la mujer se casara, tuviera hijos y que se dedicara a su hogar. De hecho, la enseñanza y la medicina fueron los primeros ámbitos que aceptaron mujeres, ya que los roles de madre y enfermera se igualaron, considerándolos como un tránsito natural de las labores en el hogar (Itatí, 2006).

A lo largo del siglo XX, con el reconocimiento de muchos países de los derechos de la mujer, se gestó un movimiento en torno a la resignificación de la idea ilustrada de la igualdad (Flores, 2004 como se citó en Duarte y García, 2016). Las mujeres comenzaron a participar en distintas esferas: en la educativa, aumentando su ingreso a la universidad; en política, a través del sufragio femenino; en lo laboral, ejerciendo como médicas, científicas, abogadas, economistas, entre otras profesiones.

También adquirieron mayor notoriedad y reconocimiento gracias a los Premios Nobel (CEDREAC, 2013).

Como resultado de la inserción femenina en el campo científico, entre el siglo XIX y XX existieron mujeres que se desarrollaron en diversos campos. Algunas de ellas fueron:

- **Émilie du Châtelet**, aristócrata francesa que se transformó en una brillante matemática y física. Su mayor logro fue traducir la obra de Newton al francés, además difundir sus teorías.

- **Jane Marcet** escribió *Conversations on Chemistry*, una de las obras sobre química más populares de todos los tiempos, que incluso inspiró a otros científicos, como fue el caso de Michael Faraday (BBC, 2018).

- **Augusta Ada Byron (1815-1852) o Ada Lovelace**, fue la primera programadora que escribió un algoritmo que se podía procesar. Fue pionera en imaginar lo que conocemos actualmente como un ordenador (Fatás, 2021).

- **Maria Salomea Sklodowska (1867-1934)** más conocida como Marie Curie, Licenciada en Física y Matemáticas en la Sorbona. Estudió la radiación que emitía el uranio espontáneamente y años más tarde, con la ayuda de Pierre Curie, investigó hasta descubrir el polonio y el radio (Fatás, 2021).

- **Katherine Johnson (1918-2020)**, matemática afroamericana que fue clave en la llegada del hombre a la luna y una de las primeras en trabajar para la NASA. Ayudó a calcular la trayectoria del Apolo 11 donde viajó Neil Armstrong y contribuyó a que el Apolo 13 volviera a la tierra sano y salvo (Fatás, 2021).

Pese a la incorporación de la mujer al campo científico, los estereotipos culturales persisten debido a una serie de dispositivos que pasamos a revisar.

### DISPOSITIVOS MODERNOS DE EXCLUSIÓN DE LA MUJER EN LA CIENCIA

Si bien hoy no se puede hablar de una exclusión explícita de las mujeres en las universidades y la ciencia -no es una prohibición legal-, existen mecanismos sutiles, implícitos, que mantienen y legitiman la segregación (Barreira, 2019). Cobo (2015) explica que las oportunidades están condicionadas por barreras subjetivas e institucionales que se originan con la ciencia moderna. Sobre los estereotipos de género en el ámbito laboral en general, Bonder (2004) señala que el que genera mayor impacto es el del rol doméstico de cuidado de la familia, que se basa en un modelo de madre ideal, que está cargado de sanciones sociales. Sobre forma en que se segrega y excluye a la mujer del campo científico en la Modernidad, Waskman (2005) distingue

tres aspectos que influyen en ello: 1) la socialización diferenciada para hombres y mujeres desde la niñez, 2) los estereotipos sexuales que masculinizan el acceso a la ciencia, atribuyendo a hombres competitividad, agresividad, racionalidad, dominación y objetividad; y 3) la discriminación jerárquica, que impone a las mujeres un techo intraspasable, pudiendo llegar a niveles menores que los hombres y motivo por el que se encuentran representadas estadísticamente en niveles medios y bajos y subrepresentadas en los niveles altos y de toma de decisiones.

Los ámbitos planteados por Waskman (2005), particularmente los dos últimos, se complementan con los aportes de González y Pau (2011), Roy (2015), Raffio (2018), Llorente (2021) y Abad (2021), sobre la forma en que la cultura de discriminación se cristaliza bajo formas de ingreso, cargos y un relato de la participación femenina que dan paso a un conjunto de dispositivos de exclusión. A continuación, una descripción de cada uno de ellos:

- El “**suelo pegajoso**” de González y Pau (2011): esta metáfora se refiere a las dificultades que presentan las mujeres al graduarse, acceder al mundo laboral y moverse dentro de los niveles jerárquicos, considerándose parte de estos obstáculos la etnia, clase social, tener hijos, estar casada y desempeñar labores de cuidado. De esta forma, las características que están inscritas como propias de las mujeres se transforman en un suelo pegajoso que impide que avancen en su área laboral y se mantengan en puestos de menor responsabilidad.

- La “**tubería agujereada**” de Roy (2015): esta metáfora da cuenta de los roles establecidos para hombres y mujeres en relación a las responsabilidades externas a la ciencia. Implica la existencia de expectativas culturales que recaen sobre las mujeres, como la responsabilidad de criar a los hijos, cuidar el hogar, cocinar, lavar, planchar y en muchos casos, cuidar a los padres enfermos o de tercera edad. Ya que la investigación es una tarea que requiere mucha educación y tiempo, las mujeres no estarían habilitadas para asumir dichos puestos.

- Los efectos “**tijera**”, “**techo de cristal**” y “**segregación**” descritos por Abad (2021): este efecto pone hincapié en que aun cuando las mujeres y hombres acceden en paridad de condiciones a la educación superior, las mujeres tienden a desertar, lo que disminuye su presencia en puestos de mayor jerarquía. Su causa está en el techo de cristal, ya que son limitaciones invisibles o implícitas al ascenso a puestos relevantes. Para medir el índice de techo de cristal se compara la proporción de mujeres en las categorías de investigación inferior con respecto a la superior.

- La segregación vertical, también descrita por Abad (2021), se refiere a la imposibilidad de las mujeres a optar a cargos con mayores atribuciones



Imagen 1: Efectos y metáforas relacionados a la escasa movilidad de la mujer dentro del campo científico.

dentro de instituciones que se dedican a la investigación, y que está fundada en sesgos de género. Implica que el financiamiento favorece a grupos cuyo líder es un hombre en desmedro de los equipos liderados por una mujer. La imagen 1 muestra las relaciones entre las metáforas ya descritas. Como se puede observar, todos estos efectos y metáforas tienen como consecuencia que la mujer accede a puestos de menor responsabilidad de los que correspondería por su cualificación, lo que está determinado por aspectos que son ajenos a sus capacidades como científicas, siendo los sesgos de género, las expectativas culturales y las limitaciones invisibles las que influyen en la movilidad al interior del campo científico.

- El efecto “**Matilda**” descrito por Llorente (2021): debe su nombre a Matilda Joslyn Gage que denunció públicamente en un ensayo publicado en 1883 con el nombre *Woman as an Inventor*, lo que vivió en su campo laboral. En él describió cómo eran invisibilizadas las contribuciones a la ciencia realizadas por mujeres y cómo el reconocimiento le era dado a los hombres.

- El “**efecto Curie**” descrito por Raffio (2018): da cuenta de la autopercepción de las mujeres sobre los aportes de otras mujeres en el campo de la ciencia. Surgió en los años 20 con la mitificación de la figura de Marie Curie luego de las giras que hizo por EE.UU, cuando muchas científicas se desmotivaron o comenzaron a autodescalificarse al compararse con una “*heroína de la ciencia*”. Esto dejó secuelas en las siguientes generaciones, siendo una forma de descalificación de los hombres hacia las mujeres y de éstas hacia su género.

## DE QUÉ SE TRATA LA CRISTALOGRAFÍA

La cristalografía es una disciplina a través de la que es posible obtener la estructura molecular de diversas sustancias, como compuestos de óxido de cobre, hormonas como la insulina, proteína, e incluso ribosomas. Primero, se produce un cristal a partir del compuesto del que se quiere conocer la estructura. Luego, usando algún tipo de radiación entre las existentes, se obtiene un patrón de puntos que son procesados por softwares que a través de métodos matemáticos y computacionales, logran descifrar la estructura molecular que se busca.

Conocer la estructura de un compuesto permite saber mucho de él, como por ejemplo, tener información sobre cómo interacciona con otros compuestos. En el caso de un enzima, determinar dónde está su sitio activo y cómo su ligando se une a esta enzima. A nivel general, esto contribuye al estudio de suelos y la potabilización de aguas en países que no tienen acceso a ella. También, a través del estudio de la estructura de un ribosoma bacteriano, se puede conocer cómo atacar a una bacteria de mejor forma, permitiendo la creación de mejores fármacos.

Para obtener cristales es necesario que estén las condiciones óptimas para su crecimiento y existen diversos tratamientos que dependen de la naturaleza de lo que se investiga. Si es una sustancia inorgánica, se puede sobresaturar la muestra con ayuda de algunos agentes químicos y luego traspasarla a una placa de Petri, de la que se obtendrá un monocristal (Whelan et al. 2018). Si es una proteína, hay que separarla del lugar donde se encuentra, por ejemplo, de una membrana celular o un citoplasma, y recurrir a detergentes especiales. Luego, separando las proteínas por tamaño o por carga, se realiza una cromatografía

en gel de poliacrilamida. Con la proteína ya separada se cristaliza, tomando en cuenta la temperatura, las mezclas de agentes precipitantes en soluciones amortiguadoras con diferentes pH, iones y contraiones, entre otros factores. Entre los métodos existentes para este proceso está el uso de un robot de cristalización que realiza un goteo de la muestra, mientras una cámara registra las gotas de cristalización. Esto permite reconocer los cristales (Garman, 2014), que deben quedar de un tamaño aproximado entre 0,5 y 1 mm.

En la cristalografía, el uso de diversas técnicas de radiación es fundamental ya que determina la aproximación que se tendrá a la estructura molecular. La técnica más importante es la de difracción con rayos X, pero existen varios métodos. A continuación, algunos de ellos:

- Cristalografía de difracción con rayos X: el primer paso para hacer una cristalografía de rayos X, es elaborar un cristal de un tamaño aproximado de 0,5 a 1 mm. El segundo paso es la difracción con rayos X que al interaccionar con el cristal dan origen a un patrón de difracción, que consiste en una ordenación de puntos negros en una placa fotográfica, donde cada punto corresponde a una familia de planos. Luego, se calcula la densidad electrónica por medio de medios matemáticos como MIR (reemplazo isomorfo múltiple), el método MAD (difracción anómala múltiple) o el método MR (reemplazo molecular), lo que da como resultado un mapa de densidad electrónica. El último paso se realiza con métodos computacionales y consiste en refinar, construir y validar el mapa para obtener el modelo de la estructura final (Pickworth & Trueblood, 2010).

• **Cristalografía macromolecular:** se encuentra dentro del estudio con difracción de rayos X y se usa para determinar la estructura de las proteínas. El cristal es de tipo macromolecular y se utiliza la radiación de sincrotrón o acelerador de partículas para obtener la estructura final (Díaz, et al, 2017).

• **Cristalografía de difracción de neutrones:** muy similar a la anterior. Se diferencia en que el neutrón, al poseer carga neutra, no interacciona con los electrones del material cristalizado. Este último ayuda a determinar propiedades magnéticas del compuesto, ya que el neutrón es sensible a materiales con bajo número atómico y distingue isótopos o elementos cercanos (Sheptyakov & Keller, 2010).

• **Criomicroscopía electrónica:** determina la estructura de compuestos como las proteínas. Lo nuevo de esta técnica es que no usa monocristales, sino que se utiliza una rejilla de cobre que contiene en su interior macromoléculas orgánicas que se sumergen en etano líquido a  $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Posteriormente, se hace una difracción con electrones y por medio de procesamiento computacional (software SPIDER, IMAGIC, EMAN y RELION), se obtiene la estructura deseada (Mendoza y Padrón, 2021).

• **Método Cryo EM:** es la técnica más nueva. Se popularizó en el 2018 en un artículo científico de una revista de alto índice de impacto, titulado El método Cryo EM: MicroED como una herramienta poderosa para la determinación de la estructura de moléculas pequeñas. Permite proporcionar a partir de una muestra muy pequeña, la estructura de una molécula orgánica a una resolución atómica de menos de  $1\text{ \AA}$  minutos (Jones, et al, 2018).

Para llegar a manejar todas estas técnicas se requirió un largo proceso que comenzó en 1895 con el descubrimiento de los rayos X y se perfeccionó a lo largo del tiempo, con grandes descubrimientos realizados por científicos y científicas. No obstante, fueron los hombres quienes obtuvieron el reconocimiento internacional, al otorgárseles Premios Nobel por sus descubrimientos o aportes. Las científicas que también participaron en las investigaciones fueron opacadas, invisibilizadas o identificadas por características relacionadas a su género o labores domésticas. Es por esta razón que se hace necesario abordar el otro lado de esta historia, una donde las mujeres ocuparon un lugar fundamental en el avance y desarrollo de la cristalografía.

## LAS MUJERES EN LA HISTORIA DE LA CRISTALOGRAFÍA

Esta historia se ordenará mediante calificativos musicales como los que utiliza el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), añadiendo pequeñas variaciones. Estos son Preludio y Obertura y Allegro ma non troppo (1895-1930), el Allegro molto (1931-1960), el Andante (1960-1990) y el Finale (1991 a la actualidad). Esta forma de dividir los períodos históricos se utiliza porque así como en la música, la historia cristalográfica tiene sus inicios, cada etapa es única y cada mujer, al igual que las notas musicales, aportó su trabajo, talento y vocación, a pesar de las dificultades y desafíos que surgieron en el camino.

### Preludio, obertura y allegro ma non troppo (1895-1929)

La historia de la cristalografía comenzó con el descubrimiento de los rayos X de Wilhelm Roentgen, en 1895. La observación de huesos en una placa supuso una revolución que marcó el inicio de la cristalografía moderna y abrió paso a las mujeres científicas que se dedicaron a esta disciplina (Sanz, 2015).

Durante la primera guerra mundial, Marie Curie y su hija Irene Joliot-Curie, recorrieron los frentes con aparatos de rayos X portátiles con los que podían detectar balas en el cuerpo de los soldados, además de fracturas y otras lesiones (Muñoz & Garritz, 2013). Con el tiempo, la difracción de rayos X se utilizó para otros fines, como determinar estructuras cristalinas. Desde ahí, las mujeres empezaron a participar no sólo en la descripción de pequeñas moléculas, sino también a arriesgarse a investigar moléculas biológicas de gran importancia médica y mucho más complejas.

En este tiempo, los hermanos Bragg tenían un gran laboratorio donde las mujeres tuvieron cabida y desde donde surgieron varias mentes brillantes (Sanz, 2015). Una de ellas fue Kathleen Lonsdale.



Kathleen Lonsdale investigando la estructura del anillo de benceno.

En 1929, Lonsdale terminó con la controversia sobre la estructura del benceno al demostrar era plana, por medio de la difracción de rayos X. Durante su vida se vio enfrentada al mundo masculino, obligada a cursar la secundaria en una escuela de hombres porque solo ahí enseñaban ciencias. Posteriormente, recibió una beca por su distinción en varias materias, con la que pudo estudiar en el Bedford College for Women (Del University College London). Se graduó como física, lo que impresionó a Bragg, quien luego la incluyó como una de sus estudiantes y ayudantes en su laboratorio. Sin embargo, tuvieron que pasar años para que ingresara como miembro a la Royal Society y ser la primera profesora titular en la University College London.

Lonsdale fue tan relevante para la cristalografía y la ciencia que en 1966, fue elegida como la primera mujer presidenta de la Unión Internacional de Cristalografía y en 1967 fue la primera mujer en ocupar el cargo de presidenta de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia. Lonsdale siempre abogó por la inclusión de la mujer en la ciencia. En 1970 expresó: "Cualquier país que quiera aprovechar al máximo todos sus potenciales científicos y tecnólogos podría hacerlo, pero no debe esperar conseguir a las mujeres con tanta sencillez como a los hombres. Es utópico, entonces, sugerir que cualquier país realmente quiera que las mujeres casadas regresen a la carrera científica" (Sanz, 2015 pp. 4). Con estas palabras evidenció el suelo pegajoso que provoca el matrimonio, la responsabilidad total sobre los hijos y las labores del hogar, y que dificultan el camino de las mujeres para sobresalir o dedicarse a la ciencia

### Allegro molto (1931-1960)

En 1949, casi 20 años después del descubrimiento de la penicilina, Dorothy Crowfoot descifró su estructura. Pasó siete años determinándola, siendo



Rosalind Franklin y su imagen de rayos X confirmando la estructura helicoidal del ADN.

también pionera en el descubrimiento de estructuras de interés biológico como la insulina, la vitamina B12 y la penicilina, entre otras. También experimentó y mejoró la técnica cristalográfica para determinar las estructuras de moléculas complejas.

Si bien fue reconocida por su trabajo, una de las metáforas que más se aplican en su caso es la de la tubería agujereada. Al anunciarla como ganadora del Premio Nobel de Química en 1964, en vez de recalcar sus labores y aportes en la ciencia, los diarios de la época la describieron como Ama de casa de Oxford gana el Nobel o La señora Hodgkin, ama de casa de apariencia afable (ganaba el premio por) una destreza completamente desamparada: la estructura de cristales de gran interés químico (Sanz, 2015, pp. 5-6). Por un lado, al ser mujer y madre se le otorgó inmediatamente el rol de dueña de casa, a pesar de haber sido científica muchos años antes. Y por otro, los artículos dan cuenta de que es algo imposible o una proeza ser mujer, ama de casa, científica y, además, ganar un Nobel.

En la década de los 50 no se tenía conocimiento exacto sobre los mecanismos de heredabilidad del color de ojos, de piel o incluso de algunas enfermedades. De este período es la científica Rosalind Franklin, quien tomó la llamada Fotografía 51 después de más de 100 horas de trabajo y con una técnica cristalográfica que en esa época nadie podía hacer mejor que ella. Su trabajo permitió determinar la estructura del ADN, lo que fue el avance más importante en biología en el siglo XX.

Franklin, al igual que sus compañeras de oficio, sufrió exclusión. No podía ir a los comedores ni los bares cercanos porque

eran de uso exclusivo para hombres, existiendo una especie de apartheid para las mujeres (Sanz, 2015). Más lamentable fue que su colega Wilkins, sin notificarla, mostrara la fotografía 51 a Watson y Crick, investigadores de la estructura de ADN de la competencia.

Watson, Crick y Wilkins basaron su trabajo en el trabajo de Franklin y presentaron la estructura de ADN como suya. Obtuvieron el Nobel en 1953, sin mencionar en lugar alguno el papel que tuvo Franklin en el descubrimiento (Sanz, 2015). Este es un claro ejemplo del efecto Matilda, donde son los hombres quienes se llevan el crédito o el reconocimiento por el trabajo de una mujer y ella es invisibilizada. El crédito recién ocurrió gracias a la biografía escrita por Anne Sayre, donde se relata la situación de Franklin como mujer, judía y compañera, siendo invisibilizado su aporte en la investigación de métodos directos para la determinación de estructuras cristalinas (Sanz, 2015).

Uno de los hechos que generó mayor indignación es que aún a más de media década de la muerte de Franklin, Watson y Crick no hayan reconocido su trabajo: cada vez que se les ha preguntado no responden o le dan un pequeño papel sin relevancia. Wilkinson sí reconoció su trabajo, señalando que sus datos fueron una contribución muy valiosa para obtener la estructura del ADN.

### Andante (1960-1990)

En la década de los 70, la cristalografía había avanzado y se iba desarrollando cada vez más, tenía el llamado "problema de las fases" que dificultaba obtener la densidad electrónica y con ello la estructura de la sustancia, lo que requería de las matemáticas. Es aquí donde Isabella Karle (ver figura 6), por medio

de la difracción de electrones y luego de rayos X, ayudó al desarrollo práctico matemático del método directo para la determinación de estructuras cristalinas, además de identificar y dilucidar cientos de estructuras de moléculas relevantes. De esta forma, contribuyó con mejorar la velocidad y precisión de los análisis químicos, los que siguen siendo la base de la cristalografía con rayos X avanzada.

Más aún, aprendió la técnica que permitió este aporte cuando se encontraba cuidando a su primer hijo, mientras su esposo investigaba la parte teórica del método directo. Gracias a Karle, el número de análisis moleculares publicados por año aumentó abruptamente de 150 a más de 10,000 en los años 2000. Al igual que Rosalind, Karle no fue incluida en el Nobel que en 1985 recibió su esposo y compañero, siendo invisibilizado su aporte en la investigación de métodos directos para la determinación de estructuras cristalinas (Sanz, 2015).

### Finale (1991-)

Con el creciente fenómeno de resistencia a los antibióticos, conocer la estructura de un ribosoma bacteriano ha sido muy útil para fabricar medicamentos o formas de combatir enfermedades. Por lo mismo, adquiere gran importancia el trabajo de Ada Yonath, quien junto a sus compañeros logró determinar su estructura. Ada fue creadora y pionera en la técnica de criocristalografía, que permite la recolección de rayos X a muy bajas temperaturas. Al igual que otras mujeres se vio enfrentada a escenarios difíciles, como mujer, científica y judía, siendo la primera mujer israelí en ganar un Nobel en Química el año 2009 (Sanz, 2015).

## CONCLUSIONES

Este artículo presentó como objetivo relevar la participación de las mujeres en la cristalografía. El relato dio cuenta de la importancia que tuvieron en el desarrollo de la ciencia, aportando en el descubrimiento de la estructura del ADN, la penicilina, la insulina, los métodos matemáticos cruciales en la cristalografía y en la forma de combatir la resistencia a los antibióticos. También fueron activas en el plano social, educativo y laboral.

Esta revisión permite dar cuenta del contraste entre el papel importante jugaron las mujeres en el desarrollo de la disciplina y la ciencia en general, y lo que ocurre con su reconocimiento tanto por parte de compañeros, los galardones y premios, la generación de estereotipos asociados a funciones domésticas, y los dispositivos institucionales que operaron e impidieron su ascenso en las carreras.

En este sentido, cabe recalcar que se mencionaron algunas de las mujeres importantes en la ciencia, pero hay muchas que han contribuido y que, sin embargo, no han quedado registros de ellas ni de sus aportes en la historia por una u otra razón, pero aun así estos están presentes y sin ellas no se hubiesen llevado a cabo.

Así, los dispositivos de exclusión presentados corresponden a formas implícitas en las que se organiza la cultura institucional y extrainstitucional actual, que no se ciñen al proceso de inicio de la cristalografía, sino que se verifican a lo largo de todo su desarrollo.

Es importante hacer hincapié en la observación de dichos dispositivos, pues es un acto necesario para lo que organismos internacionales definen como el desafío de lograr igualdad de oportunidades entre hombres y mujeres en el plano del conocimiento. Ello no sólo dependerá de políticas de igualación de cupos, sino también de eliminar los estereotipos hacia la mujer, a través de un cambio de cultura que reposicione y permita poner a hombres y mujeres en iguales condiciones para desarrollar conocimiento científico.

A pesar de las dificultades que han tenido que sobrellevar en el área de la ciencia, las mujeres han podido realizar descubrimientos, aportes y concretar muchas de sus ideas. No obstante, los estereotipos y limitantes institucionales se mantienen, de manera que estas no expresan todo su potencial, lo que va en desmedro de la misma sociedad al perder los grandes aportes que podrían realizar. ¿Cómo pretendemos avanzar, tener más tecnología, ser mejores humanos si entre nosotros nos seguimos discriminando por algo tan simple como el tener o no ciertas características físicas? Este artículo es una invitación para la eliminación de las barreras identificadas que permitan aprovechar todo el conocimiento nuevo, sin que las diferencias de género se transformen en un obstáculo para ello.

## REFERENCIAS

**Abad, R. (2021).** Premios Nobel: Mujeres en la vanguardia de las ciencias y la tecnología# Women in STEM. OBS Business School. [https://www.economia-dehoy.es/adjuntos/69057/Informe\\_OBS\\_-\\_Premios\\_Nobel\\_Mujeres\\_en\\_la\\_Vanguardia\\_de\\_las\\_ciencias\\_y\\_la\\_tecnologia.pdf](https://www.economia-dehoy.es/adjuntos/69057/Informe_OBS_-_Premios_Nobel_Mujeres_en_la_Vanguardia_de_las_ciencias_y_la_tecnologia.pdf)

**Andrew Chael** [@thisgreyspirit]. (11 de abril de 2019). So apparently some (I hope very few) people online are using the fact that I am the primary developer of the eht-imaging software library (<https://github.com/achael/eh-imagimg>) to launch awful and sexist attacks on my colleague and friend

**Katie Bouman.** Stop. [Tweet]. Twitter. [https://twitter.com/thisgreyspirit/status/1116518544961830918?ref\\_src=twsrc%5Etfw%7Ctwcamp%5E-tweetembed%7Ctwterm%5E1116518544961830918%7Ctwgr%5E%7Ctw-con%5Es1\\_&ref\\_url=https%3A%2F%2Fwww.milenio.com%2Fviraes%2Fafajero-negro-atacan-cientifica-clave-captura-foto](https://twitter.com/thisgreyspirit/status/1116518544961830918?ref_src=twsrc%5Etfw%7Ctwcamp%5E-tweetembed%7Ctwterm%5E1116518544961830918%7Ctwgr%5E%7Ctw-con%5Es1_&ref_url=https%3A%2F%2Fwww.milenio.com%2Fviraes%2Fafajero-negro-atacan-cientifica-clave-captura-foto)

**Barreira, D. (2019).** De Livia a Agripina la Menor: las seis mujeres que cambiaron el curso de la historia de Roma. El Español. <http://www.culturaclasica.com/?q=node/6818>

**Barreira et al. (2020).** Cuestiones de género: de la igualdad y la diferencia. Revistas Universidad de León. N.º. 15, pp. 125-142. <http://revpubli.unileon.es/ojs/index.php/cuestionesdegenero/article/view/6034/4806>

**Bonder, G. (2004).** "Equidad de género en ciencia y tecnología en América Latina: bases y proyecciones en la construcción de conocimiento, agendas e institucionalidades". <http://portal.oas.org/LinkClick.aspx?fileticket=maz-NKYtWAVY%3D&tabid=1527>

**BBC News Mundo. (2019).** Primera foto de un agujero negro: cómo los científicos combinaron en el Event Horizon Telescope el poder de 8 telescopios para lograr una imagen histórica. BBC. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-47867134>

**CEDREAC. (2013).** El rol de la mujer a lo largo de la historia. [https://cima.cantabria.es/documents/5710649/5729124/Mujer\\_historia.pdf/601eb1ed-1752-4ea3-5374-64abf5298254?t=1512481342680](https://cima.cantabria.es/documents/5710649/5729124/Mujer_historia.pdf/601eb1ed-1752-4ea3-5374-64abf5298254?t=1512481342680)

**Cobo, D. (2015).** Rescatando la Historia: la educación de las mujeres en España en los últimos dos siglos. Notas de una investigación empírica a través de Entrevistas en profundidad. Universidad de Cantabria, España.

**Díaz, O., Fuentes, A., Romero, F., y Ruiz, J. (2017).** Estructura y aplicaciones de un sincrotrón. Revista Inventio. 13, (29). <http://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/158/818>

**Duarte, J., García-Horta, J. (2016).** Igualdad, Equidad de Género y Feminismo, una mirada histórica a la conquista de los derechos de las mujeres. Revista CS, no. 18, pp. 107-158. DOI: <http://dx.doi.org/10.18046/recs.118.1960>

**Fatás, M. (2021).** Científicas históricas que cambiaron el mundo. National Geographic. [https://historia.nationalgeographic.com.es/a/cientificas-historicas-que-cambiaron-mundo\\_16331](https://historia.nationalgeographic.com.es/a/cientificas-historicas-que-cambiaron-mundo_16331)

**Garman, E. (2014).** Developments in X-ray Crystallographic Structure Determination of Biological Macromolecules. Science, 343(6175), 1102-1108. <http://science.sciencemag.org/content/343/6175/1102.full>

**Glynn, J. (2012).** Remembering my sister Rosalind Franklin. The Lancet, 379(9821), 1094-1095. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60452-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60452-8)

**González, O., y Pau, B. (2011).** "Techo de cristal" y "suelo pegajoso". La situación de la mujer en los sistemas alemán y español de ciencia y tecnología. Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad-CTS, 6(18). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3716827>

**Infobae. (19 de diciembre de 2019).** La primera imagen de un agujero negro de la historia fue elegida como el avance científico del año. Infobae. <https://www.infobae.com/america/ciencia-america/2019/12/19/la-primera-imagen-de-un-agujero-negro-de-la-historia-fue-elegida-como-el-avance-cientifico-del-ano/>

**Itatí, A. (2006).** El acceso de las mujeres a los estudios universitarios (siglo XIX). Revista Argentina de Sociología, 4(7), 11-46.

**Llorente, A. (2021).** Día de la Mujer: qué es el "efecto Matilda" que invisibiliza a las mujeres en la ciencia. BBC news mundo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-55990900>

**Lourenco, M. (2019).** "Las mujeres hacen las noticias". <https://es.unesco.org/themes/media-pluralism-and-gender-equality/womenmakenews/2019>

**Maffia, D. (2007).** "Epistemología feminista: La subversión semiótica de las mujeres en la ciencia". En: Revista Venezolana de Estudios de la Mujer, vol. 12, n.º. 28. [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S1316-37012007000100005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S1316-37012007000100005&script=sci_arttext)

**Mendoza, F., Padrón, R. (2021).** Avances en la Química. Portal de revistas ULA, 16(1). [www.saber.ula.ve/avancesenquimica](http://www.saber.ula.ve/avancesenquimica)

**Muñoz, A., y Garritz, A. (2013).** Mujeres y química: Parte IV. Siglos XX y XXI. Educación química, 24(3), 326-334. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72482-0](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72482-0)

**OECD. (2021).** Igualdad de género en Chile: Hacia una mejor distribución del trabajo remunerado y no remunerado. <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/2a17934e-es/index.html?itemId=/content/component/2a17934e-es>

**Pickworth, J., Trueblood, K. (2010).** Crystal structure analysis. Science Publications, 6.

**Raffio, V (2018).** El complejo de Marie Curie: sobrevivir al mito de una heroína de la ciencia. El periódico. <https://www.elperiodico.com/es/ciencia/20180704/complejo-marie-curie-inferioridad-cientificas-mujeres-cien-cia-6924097>

**Sanz, J. (2015).** El legado de las mujeres a la cristalografía. Revista Arbor, 191(772), a216-a216. <http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2015.772n2002>

**Serie "Science Stories". (2018).** Jane Marcet, la mujer que hizo que el influyente científico Michael Faraday se enamorara de la ciencia. BBC News Mundo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-42627722#:~:text=Marcet%20inspir%C3%B3%20a%20Faraday%20a,el%20mundo%20de%20la%20ciencia.>

**Sheptyakov, D., Keller, L. (2010).** Neutron Powder Diffraction. Technology Transfer R&D Services. <https://www.psi.ch/industry/Dienstleistungen/Tabelle/NUM-F08-D-10.pdf>

**Waksman, N. (2005).** El papel de la mujer en la ciencia. Ciencia UANL, 8(1), 3-6.

**Whelan, J., Koussa, J., Chehade, I., Sabanovic, M., Chang, A., Carelli, D. y Rabeh, W. M. (2018).** Crystal growth, a research-driven laboratory course. Journal of Applied Crystallography, 51(5), 1474-1480. <https://doi.org/10.1107/S1600576718009573>